

[JP,2003-152076,A]

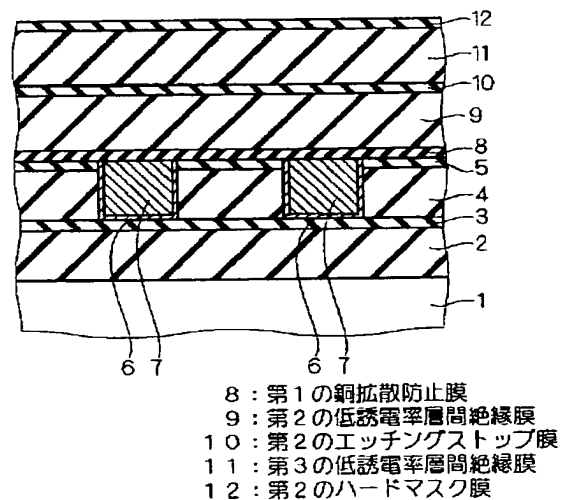
[Problem(s) to be Solved by the Invention] It is desirable that a silicon carbonization film is applied as a copper diffusion prevention film in the semiconductor device which adopted the above copper wiring as mentioned above. It is because specific inductive capacity is more low and the effect of decreasing a layer insulation membrane capacitance is large as compared with the silicon nitride which are other candidate material.

[0016] However, a silicon carbonization film cannot necessarily prevent copper diffusion completely. For example, copper diffusion prevention functioning becomes inadequate by existence of the impurity in a silicon carbonization film, or a copper diffusion prevention function declines by secular change.

[0017] Therefore, in order to raise the reliability of a semiconductor device, lengthening a lifetime until it raises the copper diffusion prevention ability of this silicon carbonization film and an insulator layer results in dielectric breakdown by copper diffusion is always called for.

Invention according to claim 1 is a semiconductor device with which it has a layer insulation film, the conductor which makes copper a principal component, and a silicon carbonization film, the aforementioned silicon carbonization film intervenes between the aforementioned conductor and the aforementioned layer insulation film, and an oxygen atom is contained in the aforementioned silicon carbonization film more than 30 atom %.

[0020] Invention according to claim 2 is a semiconductor device according to claim 1, a nitrogen atom is also contained in the aforementioned silicon carbonization film, and the aforementioned silicon carbonization film is a semiconductor device which contains an oxygen atom and a nitrogen atom more than 30 in all atom %.



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2003-152076
(P2003-152076A)

(43) 公開日 平成15年5月23日 (2003.5.23)

(51) Int.Cl.⁷

H 0 1 L 21/768
21/314

識別記号

F I

H 0 1 L 21/314
21/90

テームト* (参考)

A 5 F 0 3 3
K 5 F 0 5 8
A

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願2001-348736 (P2001-348736)

(22) 出願日 平成13年11月14日 (2001.11.14)

(71) 出願人 000006013

三菱電機株式会社

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号

(72) 発明者 松浦 正純

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三
菱電機株式会社内

(74) 代理人 100089233

弁理士 吉田 茂明 (外2名)

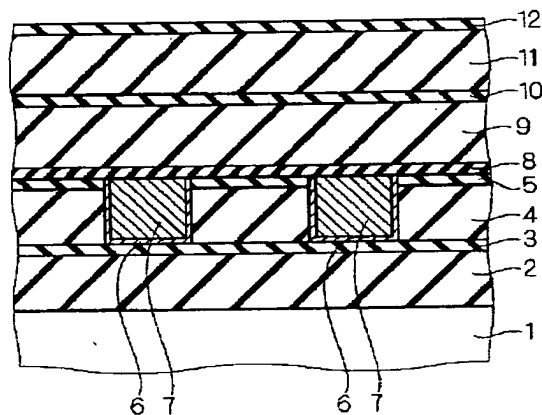
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体装置およびその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 銅配線構造をもつ半導体装置において、シリコン炭化膜の銅拡散防止能を改善し、銅拡散により引き起こされる絶縁破壊までの寿命を長時間化することにある。また、その製造方法も提供する。

【解決手段】 第1の銅配線7と第2の低誘電率層間絶縁膜9との間に第1の銅拡散防止膜8を設ける。第1の銅拡散防止膜8には、酸素原子、または、それに加えて窒素原子を30原子%以上含ませたシリコン炭化膜を採用する。そのようなシリコン炭化膜を採用することで、銅拡散防止機能が改善され、銅拡散に起因する絶縁破壊までの寿命を長時間化させることができる。



- 8 : 第1の銅拡散防止膜
- 9 : 第2の低誘電率層間絶縁膜
- 10 : 第2のエッチングストップ膜
- 11 : 第3の低誘電率層間絶縁膜
- 12 : 第2のハードマスク膜

【特許請求の範囲】

【請求項1】 層間絶縁膜と、銅を主成分とする導電体と、シリコン炭化膜とを備え、前記導電体と前記層間絶縁膜との間には、前記シリコン炭化膜が介在し、前記シリコン炭化膜には、酸素原子が30原子%以上含まれる半導体装置。

【請求項2】 請求項1に記載の半導体装置であって、前記シリコン炭化膜には、窒素原子も含まれ、前記シリコン炭化膜は、酸素原子および窒素原子を合わせて30原子%以上含む半導体装置。

【請求項3】 (a) 層間絶縁膜を形成する工程と、(b) 銅を主成分とする導電体を形成する工程と、(c) 前記導電体と前記層間絶縁膜との間にシリコン炭化膜を形成する工程とを備え、前記シリコン炭化膜には、酸素原子が30原子%以上含まれる半導体装置の製造方法。

【請求項4】 請求項3に記載の半導体装置の製造方法であって、前記シリコン炭化膜には、窒素原子も含まれ、前記シリコン炭化膜は、酸素原子および窒素原子を合わせて30原子%以上含む半導体装置の製造方法。

【発明の詳細な説明】**【0001】**

【発明の属する技術分野】 この発明は、銅配線を採用した半導体装置およびその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】 0.13 μ mゲート世代以降のシステムLSIにおいて、デバイスの高速化を実現するためにデバイスの信号遅延を低減することが重要である。デバイスの信号遅延は、トランジスタの信号遅延と配線遅延との和で表されるが、配線ピッチの縮小が急速に進むにつれて、トランジスタにおける信号遅延よりも配線遅延の影響の方が大きくなっている。

【0003】 配線遅延はRCの積（抵抗×層間静電容量）に比例するため、配線抵抗を低くすること、あるいは、層間絶縁膜の容量を小さくすることが配線遅延を軽減するために必要である。よって、この問題を解決するために、低誘電率の層間絶縁膜と低抵抗の銅配線との組み合わせを採用した埋め込み配線構造が盛んに研究されている。

【0004】 図19は、従来の一般的な埋め込み銅配線構造を有する半導体装置を示す図である。この半導体装置では、2層の銅配線が形成されている。

【0005】 具体的には、シリコン基板等の基板111上に、トランジスタ等の素子（図示せず）を内蔵する下部絶縁層112が形成されている。そして、下部絶縁層112の上に第1のエッチングストップ膜113、第1の低誘電率層間絶縁膜114および第1のハードマスク

膜115が形成されている。

【0006】 なお、第1のエッチングストップ膜113は、第1の低誘電率層間絶縁膜114内に配線溝を形成する時にエッチングをストップさせるための膜である。また、第1のハードマスク膜115は、第1の低誘電率層間絶縁膜114内に配線溝を形成するためのハードマスク（フォトリソグレイよりも強固な材質のマスク）として使用される。

【0007】 第1の低誘電率層間絶縁膜114および第1のハードマスク膜115内には配線溝が形成され、そこには第1のバリアメタル116および第1の銅配線117が形成されている。

【0008】 そしてさらに、上記構造上には、第1の銅拡散防止膜118、第2の低誘電率層間絶縁膜119、第2のエッチングストップ膜120、第3の低誘電率層間絶縁膜121、および第2のハードマスク膜122が形成されている。

【0009】 第1の銅拡散防止膜118は、銅の拡散を防止するために設けられる。銅はアルミニウムやタンタル等の材料に比べ、絶縁膜中に拡散しやすく、層間絶縁膜中に多量の銅が拡散すると、層間絶縁膜が絶縁破壊に至ってしまう。よって、この銅の拡散を防止する必要がある。

【0010】 第1の銅拡散防止膜118には、銅拡散防止能を有しているシリコン窒化膜（比誘電率が6.5～8.0）やシリコン炭化膜（比誘電率が4.5～5.0）等が採用される。なお、層間絶縁膜容量を減少させる効果の大きい（すなわち比誘電率の低い）シリコン炭化膜を採用するのが好ましい。

【0011】 なお、第2のエッチングストップ膜120は、第3の低誘電率層間絶縁膜121内に配線溝を形成する時にエッチングをストップさせるための膜である。

【0012】 また、第2のハードマスク膜122は、第3の低誘電率層間絶縁膜121内に配線溝を形成するためのハードマスクとして使用される。

【0013】 第3の低誘電率層間絶縁膜121および第2のハードマスク膜122内には配線溝が形成され、また、配線溝124に露出した第2のエッチングストップ膜120の一部および第3の低誘電率層間絶縁膜119内には接続孔が形成されている。そして、その配線溝および接続孔内に、第2のバリアメタル125および第2の銅配線126が形成されている。

【0014】 そしてさらに、上記構造上に第2の銅拡散防止膜127が形成されている。適用可能な材料としては、シリコン窒化膜およびシリコン炭化膜等があるが、第1の銅拡散防止膜118と同様に層間絶縁膜容量を減少させる効果の大きいシリコン炭化膜を適用するのが好ましい。

【0015】

【発明が解決しようとする課題】 上記のような銅配線を

採用した半導体装置では、前述したように銅拡散防止膜としてシリコン炭化膜が適用されることが好ましい。他の候補材料であるシリコン窒化膜と比較して、より比誘電率が低く、層間絶縁膜容量を減少させる効果が大きいからである。

【0016】しかしながら、シリコン炭化膜は必ずしも完全に銅の拡散を防止できるわけではない。例えば、シリコン炭化膜中の不純物の存在により銅拡散防止機能が不十分となったり、経年変化により銅拡散防止機能が衰えたりする。

【0017】よって、半導体デバイスの信頼性を高めるためには、このシリコン炭化膜の銅拡散防止能を向上させ、銅の拡散により絶縁膜が絶縁破壊に至るまでの寿命時間を長くすることが常に求められる。

【0018】そこで、この発明の課題は、銅配線構造をもつ半導体装置において、シリコン炭化膜の銅拡散防止能を改善し、銅拡散により引き起こされる絶縁破壊までの寿命を長時間化することにある。また、その製造方法も提供する。

【0019】

【課題を解決するための手段】請求項1に記載の発明は、層間絶縁膜と、銅を主成分とする導電体と、シリコン炭化膜とを備え、前記導電体と前記層間絶縁膜との間には、前記シリコン炭化膜が介在し、前記シリコン炭化膜には、酸素原子が30原子%以上含まれる半導体装置である。

【0020】請求項2に記載の発明は、請求項1に記載の半導体装置であって、前記シリコン炭化膜には、窒素原子も含まれ、前記シリコン炭化膜は、酸素原子および窒素原子を合わせて30原子%以上含む半導体装置である。

【0021】請求項3に記載の発明は、(a)層間絶縁膜を形成する工程と、(b)銅を主成分とする導電体を形成する工程と、(c)前記導電体と前記層間絶縁膜との間にシリコン炭化膜を形成する工程とを備え、前記シリコン炭化膜には、酸素原子が30原子%以上含まれる半導体装置の製造方法である。

【0022】請求項4に記載の発明は、請求項3に記載の半導体装置の製造方法であって、前記シリコン炭化膜には、窒素原子も含まれ、前記シリコン炭化膜は、酸素原子および窒素原子を合わせて30原子%以上含む半導体装置の製造方法である。

【0023】

【発明の実施の形態】<実施の形態1>本実施の形態は、シリコン炭化膜に、酸素原子、または、それに加えて窒素原子を30原子%以上含ませることで、シリコン炭化膜の銅拡散防止機能を改善し、銅拡散に起因する絶縁破壊までの寿命を長時間化させた半導体装置およびその製造方法である。

【0024】図1～図5は本実施の形態に係る半導体装

置の製造方法を示す図であり、図6はそれにより得られる半導体装置を示す図である。本実施の形態では、2層の銅配線を形成するプロセスフローを例示する。以下、図1から順に説明する。

【0025】まず、シリコン基板等の基板1上に、トランジスタ等の素子(図示せず)を内蔵する下部絶縁層2を形成する。そして、下部絶縁層2の上に第1のエッチングストップ膜3、第1の低誘電率層間絶縁膜4および第1のハードマスク膜5を形成する(図1)。なお、本実施の形態においては、基板1および下部絶縁層2で構成される構造を配線形成層の下部構造と捉える。

【0026】また、第1のエッチングストップ膜3は、第1の低誘電率層間絶縁膜4内に配線溝を形成する時にエッチングをストップさせるための膜である。第1のエッチングストップ膜3には、配線溝のエッチングを確実にストップさせる役割が要求される。つまり、あるエッチング条件において第1の低誘電率層間絶縁膜4のエッチング速度よりも非常に小さいエッチング速度を有する材料を第1のエッチングストップ膜3に適用することが望ましい。

【0027】この膜には例えば、シリコン酸化膜、シリコン窒化膜、シリコン炭化膜などが採用される。これら3種の膜は、次に述べる各種の低誘電率層間絶縁膜を被エッチング膜とする場合に、容易に大きなエッチング選択比が取れるという特質がある。

【0028】また、第1の低誘電率層間絶縁膜4には、以下のような各種の絶縁膜のいずれか又は複数が採用される。例えば、水素化シルセスキオキサン(Hydrogen Silsesquioxane)、メチルシルセスキオキサン(Methyl Silsesquioxane)、ポリアリルエーテル(Poly Aryl Ether)、アロマティックポリマー(Aromatic Polymer)、ベンゾシクロブテン(Benzocyclobutene)、ポリテトラフロロエチレン(Polytetrafluoroethylene)等である。また、その他にも、ポーラスシリカであるキセロゲル(Xerogel)、エアロゲル(Aerogel)など、回転塗布法で形成される材料や、フッ素シリコン酸化膜(SiOF膜)、フッ素化アモルファスカーボン(CF膜)、パリレン(Parylene)、窒化ボロン(BN膜)、炭化シリコン酸化膜(SiOC膜)などのCVD法(Chemical Vapor Deposition、化学気相成長法)で形成される材料でもよい。これらの低誘電率層間絶縁膜の比誘電率は1.8～3.0程度である。

【0029】また、第1のハードマスク膜5には例えば、シリコン窒化膜、シリコン酸化膜、シリコン酸窒化膜およびシリコン炭化膜等が使用される。第1のハードマスク膜5は、第1の低誘電率層間絶縁膜4内に配線溝を形成するためのハードマスクとして使用され、さらに、下層の第1の低誘電率層間絶縁膜4が配線形成時の化学機械研磨: CMP (Chemical Mechanical Polishing) に直接に曝されることを防止する。

【0030】次に、第1のハードマスク膜5をフォトリソグラフィ技術を用いてパターンニングし、これをマスクとして第1の低誘電率層間絶縁膜4にドライエッチングを行って配線溝7aを形成する。そして、第1のバリアメタル6および第1の銅配線7をこの順に形成し、第1のハードマスク膜5上の部分をCMPを行って除去し、配線溝7a内のみこれらを残置する(図2)。第1のバリアメタル6は、第1の銅配線7に接しており、配線溝7aの内壁に沿って形成される。

【0031】ここでは、第1のエッチングストップ膜3を下部構造上に形成しているが、配線溝7aの深さに応じて第1の低誘電率層間絶縁膜4の成膜途中に形成してもよい。

【0032】なお、第1のバリアメタル6には例えば窒化タンタルを採用する。窒化タンタルはスパッタ法あるいはCVD法により形成する。また、第1の銅配線7はスパッタ法あるいはメッキ法で形成する。ここで、窒化タンタルは、第1の銅配線7から第1の低誘電率層間絶縁膜4中への銅の拡散を防止するバリアメタル機能を担っている。

【0033】上記工程で得られた構造の上に、第1の銅配線7に接する第1の銅拡散防止膜8、第2の低誘電率層間絶縁膜9、第2のエッチングストップ膜10、第3の低誘電率層間絶縁膜11、および第2のハードマスク膜12をこの順に形成する(図3)。

【0034】さて、本実施の形態では、第1の銅拡散防止膜8に、酸素原子、または、それに加えて窒素原子を30原子%以上含ませたシリコン炭化膜を採用する。このようなシリコン炭化膜を採用する利点については後述する。

【0035】また、第2および第3の低誘電率層間絶縁膜9、11には、第1の低誘電率層間絶縁膜4と同様の各種の低誘電率層間絶縁膜が採用される。

【0036】また、第2のエッチングストップ膜10も、第1のエッチングストップ膜3と同様、第3の低誘電率層間絶縁膜11内に配線溝を形成する時にエッチングをストップさせるための膜である。この膜の材質にも、第3の低誘電率層間絶縁膜11に対し、容易に大きなエッチング選択比が取れることが要求される。例えば、第1のエッチングストップ膜3と同様、シリコン酸化膜、シリコン窒化膜、シリコン炭化膜などがこの膜に採用される。

【0037】また、第2のハードマスク膜12は、第1のハードマスク膜5と同様のハードマスク膜としての機能を有し、さらに、下層の第3の低誘電率層間絶縁膜11がCMPに直接に曝されることを防止している。この膜には、第1のハードマスク膜5と同様、シリコン窒化膜、シリコン酸化膜、シリコン酸窒化膜およびシリコン炭化膜等が適用できる。

【0038】次に、第2のハードマスク膜12をフォト

リソグラフィ技術を用いてパターンニングし、これをマスクとして第3の低誘電率層間絶縁膜11にドライエッチングを行って配線溝14を形成する。また、配線溝14に露出した第2のエッチングストップ膜10の一部をフォトリソグラフィ技術を用いてパターンニングし、これをマスクとして第2の低誘電率層間絶縁膜9および第1の銅拡散防止膜8にドライエッチングを行って接続孔13を形成する(図4)。

【0039】なお、第2のエッチングストップ膜10は、配線溝14の深さに応じた位置に形成される。よって、第2および第3の低誘電率層間絶縁膜9、11を1つの層間絶縁膜と捉えた場合、その層間絶縁膜の成膜途中に第2のエッチングストップ膜10が形成され则认为することができる。

【0040】そして、第1のバリアメタル6および第1の銅配線7と同様に、第2のバリアメタル15および第2の銅配線16を形成し、第2のハードマスク膜12上の部分をCMP法により除去し、接続孔13および配線溝14内のみ残置する(図5)。第2のバリアメタル15は、第2の銅配線16に接しており、接続孔13および配線溝14の内壁に沿って形成される。また、第1の銅配線7は、第2の銅配線16のうち接続孔13内に形成された接続部と接触している。

【0041】そして、第2の銅配線16の上方に接する第2の銅拡散防止膜17を形成する(図6)。第2の銅拡散防止膜17にも第1の銅拡散防止膜と同様に、酸素原子、または、それに加えて窒素原子を30原子%以上含ませたシリコン炭化膜を採用する。

【0042】このように本実施の形態においては、第1および第2の銅拡散防止膜8、17に、酸素原子を含有した、あるいは、酸素原子と窒素原子を含有したシリコン炭化膜が適用される。

【0043】図7は、シリコン炭化膜中の全組成元素に対する酸素原子あるいは酸素原子+窒素原子の含有比率(単位はアトム% (原子%))と、絶縁破壊までの寿命(単位は秒)との関係を示す図である。なお、図7の実験結果は、酸素原子を含有した、あるいは、酸素原子と窒素原子を含有したシリコン炭化膜のサンプル膜をシリコン基板上に形成し、そのサンプル膜上に銅電極を形成して、銅電極が+側、シリコン基板が-側(基板裏面からコンタクトする)になるよう電圧を印加したときの絶縁破壊までの寿命を測定したものである。また、ここで示す絶縁破壊までの寿命とは、200℃の雰囲気温度で1MV/cmの電界を印加した場合の値である。

【0044】図7から明らかなように、酸素原子あるいは酸素原子+窒素原子の含有比率が30原子%以上になると、急激に絶縁破壊までの寿命が延びている。50%以上の場合の詳細データはないが、少なくとも含有比率が30%から50%の間では長寿命を持つシリコン炭化膜の形成が可能である。ちなみに、シリコン酸化膜また

はシリコン酸化膜で同様の実験を行った場合には、このような長寿命にはならないことが判明している。

【0045】なお、本実施の形態に係るシリコン炭化膜には、おもな構成元素であるシリコン原子、炭素原子、酸素原子、窒素原子以外に、水素原子を含んでいてもよい。水素原子を含んでいても同様な結果となるからである。

【0046】シリコン炭化膜の絶縁破壊の寿命は、銅電極からサンプル膜への銅の拡散により引き起こされると考えられる。例えばアルミ電極を使用した場合には、このような短時間での耐圧劣化は発生しないからである。すなわち、図7の実験においてシリコン炭化膜が高電界に対して長寿命であるということは、銅の拡散が生じにくいことを意味し、銅の拡散防止に優れていることを意味するのである。

【0047】よって、酸素原子あるいは酸素原子+窒素原子の含有比率が30原子%以上のシリコン炭化膜を銅拡散防止膜に採用すれば、銅拡散防止機能が改善され、銅拡散に起因する絶縁破壊までの寿命を長時間化させることができる。

【0048】次に、酸素原子あるいは酸素原子と窒素原子を含有したシリコン炭化膜の形成方法について説明する。成膜方法としては、プラズマCVD法が使用される。シリコン炭化膜中に酸素あるいは酸素+窒素を含有させるためには、原料ガスとして酸素、窒素を含むものを選ぶ必要がある。

【0049】シリコン炭化膜に酸素原子を含有させるためには、有機シロキサン (Organic Siloxane) やシリコンアルコキシド (Silicon Alchoxide) を使用するか、あるいは、有機シラン (Organic Silane: $\text{SiH}_n\text{R}_{4-n}$ 、ただしRはアルキル基 ($\text{C}_n\text{H}_{2n+1}$)) に酸素を添加すればよい。

【0050】また、シリコン炭化膜に酸素原子+窒素原子を含有させるためには、有機シランに亜酸化窒素または亜酸化窒素とアンモニアとの混合ガスを添加する、あるいは、有機シロキサンやシリコンアルコキシドに、亜酸化窒素やアンモニア、または、亜酸化窒素とアンモニアとの混合ガスを添加すればよい。もちろん、アンモニアの代わりに、窒素あるいはアンモニアと窒素との混合ガスを使用してもよい。

【0051】有機シロキサンは、分子骨格のなかにSi-O結合を含んでおり、鎖状シロキサン ($\text{R}_{2n+1}(\text{SiO})_n\text{SiR}_3$ 、Rはアルキル基 ($\text{C}_n\text{H}_{2n+1}$) または水素) と環状シロキサン ($(\text{R}_2\text{SiO})_n$ 、Rはアルキル基 ($\text{C}_n\text{H}_{2n+1}$) または水素、nは3以上) に大別できる。

【0052】本発明に適用できる鎖状シロキサンとしては、HMDSO (Hexamethyldisiloxane: $\text{Si}_2\text{O}(\text{CH}_3)_6$)、OMTS (1,1,1,3,5,7,7,7-Octamethyltetrasiloxane: $\text{Si}_4\text{O}_3\text{H}_2(\text{CH}_3)_8$) がある。また、本発明に適用できる環

状シロキサンとしては、OMCTS (Octamethylcyclotetrasiloxane: $\text{Si}_4\text{O}_4(\text{CH}_3)_8$)、TMCTS (1,3,5,7-Tetramethylcyclotetrasiloxane: $\text{Si}_4\text{O}_4(\text{CH}_3)_4$) がある。

【0053】シリコンアルコキシドはTEOS (Tetraethoxysilane: $\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4$) に代表される珪酸塩であり、化学式では $\text{Si}(\text{OR})_4$ または $\text{SiR}_1\text{R}_2(\text{OR}_2)_{4-n}$ と記される (ここではR1はアルキル基か水素、R2はアルキル基)。本発明に適用できるシリコンアルコキシドとしては、TEOSの他にTMOs (Tetramethoxysilane: $\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4$)、TMS (Trimethoxysilane: $\text{SiH}(\text{OCH}_3)_3$)、DMDMOS (Dimethyldimethoxysilane: $\text{Si}(\text{CH}_3)_2(\text{OCH}_3)_2$) がある。

【0054】上記のような原料ガスを流量等の調整をして使用し、200Pa程度に調整されたプラズマCVD装置のチャンバー内にてプラズマを発生させる。そして、ステージ温度を300~400℃に設定した基板ステージ上にウエハ基板を載置し、そのウエハ基板上にシリコン炭化膜を形成する。そうすれば、膜中に酸素原子あるいは酸素原子+窒素原子を含有したシリコン炭化膜が形成できる。

【0055】酸素原子あるいは酸素原子+窒素原子の含有比率を30原子%以上にしたシリコン炭化膜は、図7に示したように絶縁膜破壊までの寿命が長くなるため、これを銅拡散防止膜として使用すれば半導体装置の信頼性を向上させることができる。

【0056】なお、上記のシリコン炭化膜は銅の拡散に対して有用であるが、もちろん、銅よりも拡散しにくいアルミニウムやチタン、タンタル等、他の金属に対しても同様に拡散を防止する機能を有する。

【0057】本実施の形態に係る半導体装置によれば、第1および第2の銅拡散防止膜8、17にシリコン炭化膜を採用し、そのシリコン炭化膜には、酸素原子、または、それに加えて窒素原子が30原子%以上含まれる。これにより、銅配線からの銅の拡散を防止するシリコン炭化膜の機能が改善され、銅の拡散に起因する絶縁破壊までの寿命が長時間化した半導体装置が得られる。

【0058】すなわち、本実施の形態においては、酸素原子あるいは酸素原子+窒素原子を含有したシリコン炭化膜を銅拡散防止膜8、17として銅配線7、16上に形成しているので、上方への銅拡散を防止することができる。すなわち、第1の銅拡散防止膜8の場合、第1の銅配線7から上層の第2の低誘電率層間絶縁膜9への銅拡散を防止することができる。第2の銅拡散防止膜17の場合も同様に、上層に層間絶縁膜が形成された場合に層間絶縁膜への銅拡散を防止することができる。

【0059】なお、図6では第2の銅拡散防止膜17上に成膜は行なわれていないが、第2の銅拡散防止膜17の機能はもちろん、その上に第1ないし第3の低誘電率層間絶縁膜4、9、11と同様の低誘電率層間絶縁膜が形成された場合の銅の拡散を防止することである。すな

わち、低誘電率層間絶縁膜と銅配線との間に銅拡散防止膜を介在させることで、銅の拡散防止を図る。

【0060】また、本実施の形態に係る半導体装置の製造方法によれば、上記利点を有する半導体装置を製造することが可能となる。

【0061】なお、第1および第2の銅配線7、16に第1および第2の銅拡散防止膜8、17をそれぞれ設けたので、多層配線の場合であっても、上記効果が得られる。

【0062】また、本実施の形態においては、配線の形成に当たって、第1ないし第3の低誘電率層間絶縁膜4、9、11を先に形成し、その内部に配線溝7a、14および接続孔13を形成している。これにより、いわゆるダマシンプロセスが可能となっているが、本発明はそのようなプロセスに限られるものではない。

【0063】例えば下部構造上に金属膜を形成し、フォトリソグラフィ技術およびエッチング技術を用いて配線形状に成形した後、その周囲に低誘電率層間絶縁膜を形成するようなプロセスであってもよい。その場合も、酸素原子あるいは酸素原子+窒素原子を含有したシリコン炭化膜を、配線と低誘電率層間絶縁膜との間に介在させて形成するようにすれば、その金属の拡散を防止することが可能である。

【0064】なお、第1の銅配線7の配線の幅よりもその上層の接続孔13の直径の方が小さいことが一般的であるため、第1の銅拡散防止膜8が第1の銅配線7からの第2の低誘電率層間絶縁膜9への銅拡散を有効に防止する。第2の銅拡散防止膜17の場合も同様である。

【0065】＜実施の形態2＞本実施の形態は、実施の形態1に係る半導体装置およびその製造方法の変形例であり、酸素原子あるいは酸素原子+窒素原子の含有比率を30原子%以上にしたシリコン炭化膜の適用を他の膜にまで広げた例である。

【0066】図8～図12は本実施の形態に係る半導体装置の製造方法を示す図であり、図13はそれにより得られる半導体装置を示す図である。本実施の形態では、1層の銅配線を形成するプロセスフローを示しており、酸素原子あるいは酸素原子+窒素原子を含有したシリコン炭化膜が、実施の形態1における第1のエッチングストップ膜3および第1のハードマスク膜5にも適用される。そしてさらに、実施の形態1における第1のバリアメタル6の形成が省略され、その代わりに、酸素原子あるいは酸素原子+窒素原子を含有したシリコン炭化膜が配線溝7a内の壁面に沿ってサイドウォール膜として形成される。上述した点以外は、図1～図6の実施の形態1のプロセスフローと同様である。以下、図8から順に説明する。

【0067】まず、シリコン基板等の基板21上に、トランジスタ等の素子（図示せず）を内蔵する下部絶縁層22を形成する。そして、下部絶縁層22の上に第1の

エッチングストップ膜23、第1の低誘電率層間絶縁膜24および第1のハードマスク膜25を形成する（図8）。なお、本実施の形態においても、基板21および下部絶縁層22で構成される構造を配線形成層の下部構造と捉える。

【0068】本実施の形態においては、上述したように、第1のエッチングストップ膜23および第1のハードマスク膜25は、酸素原子あるいは酸素原子+窒素原子の含有比率を30原子%以上にしたシリコン炭化膜である。酸素原子あるいは酸素原子+窒素原子を含有させても、シリコン炭化膜はエッチングストップ機能およびハードマスク機能を有しているため、このような置換が可能である。

【0069】また、第1の低誘電率層間絶縁膜24には、実施の形態1で挙げた各種の絶縁膜のいずれか又は複数が採用される。

【0070】次に、第1のハードマスク膜25をフォトリソグラフィ技術を用いてパターニングし、これをマスクとして第1の低誘電率層間絶縁膜24にドライエッチングを行って配線溝26を形成する（図9）。

【0071】続いて、配線溝26内の壁面に、酸素原子あるいは酸素原子+窒素原子の含有比率を30原子%以上にしたシリコン炭化膜が形成されるように、それを材料とする第1のサイドウォール形成用絶縁膜27aを図9の構造の全面を覆うように形成する（図10）。

【0072】そして、第1のサイドウォール形成用絶縁膜27aに対して異方性ドライエッチングを行い、配線溝26内の側壁部に接する部分を残すようにエッチバックする。これにより、第1のサイドウォール膜27bを形成する（図11）。

【0073】次に、第1の銅配線28を形成し、第1のハードマスク膜25上の部分をCMP法により除去する。これにより、配線溝26は第1のサイドウォール膜27bを側壁部に介して第1の銅配線28で充填される（図12）。そして、酸素原子あるいは酸素原子+窒素原子の含有比率を30原子%以上にしたシリコン炭化膜を、第1の銅配線28の上面に接する第1の銅拡散防止膜29として形成する（図13）。

【0074】このような銅配線構造では、本発明によるシリコン炭化膜が十分な銅拡散防止機能を有していることから、それにより銅膜を第1の低誘電率層間絶縁膜24と接触させないことでバリアメタルを使わずに銅配線を形成することが可能である。

【0075】すなわち、本実施の形態に係る半導体装置によれば、第1のエッチングストップ膜23、第1のサイドウォール膜27bおよび第1の銅拡散防止膜29が全て、酸素原子あるいは酸素原子+窒素原子の含有比率を30原子%以上にしたシリコン炭化膜である。

【0076】よって、酸素原子あるいは酸素原子+窒素原子を含有するシリコン炭化膜が、断面図上、第1の銅

配線28の側面のみならず上面、下面にも接しており、第1の銅配線28の周囲に銅が拡散するのを、より確実に防止することができる。すなわち、第1の銅拡散防止膜29が第1の銅配線28の上面に形成されているので、銅の上方への拡散を防止することができる。また、第1のサイドウォール膜27bが配線溝26内の側面に形成されているので、配線溝26側方周辺の第1の低誘電率層間絶縁膜24への銅の拡散を防止することができる。また、第1の銅配線28の下面に形成された第1のエッチングストップ膜23も酸素原子あるいは酸素原子+窒素原子を含有するシリコン炭化膜であるので、銅の下方への拡散、すなわち、下部絶縁層22への銅拡散を防止することができる。

【0077】また、第1のサイドウォール膜27bが配線溝26内の壁面に沿って形成されているので、第1の銅配線28の周囲に銅拡散防止用のバリアメタルを形成する必要がない。バリアメタルが不要となった結果、第1の銅配線28の体積を増加させることができる。すなわち例えば、実施の形態1における第1のバリアメタル6に比して、第1のサイドウォール膜27bは配線溝26内の底面には設けられないので、その分、第1の銅配線28の体積を増やすことができる。

【0078】それに加えて、バリアメタルが配線溝26内の底面には設けられないことにより、接続部の接触抵抗も減少させることができる。図8～図13では、第1の銅配線28には下部構造中の素子への接続部を設けていないが、そのような接続部を設ける場合がある。その場合、図9の段階でさらに、配線溝26内の第1のエッチングストップ膜23の一部をエッチングして、下部絶縁層22内に接続孔を設ければよい。そうすれば続く工程を経ることでサイドウォール膜の付いた接続孔が形成でき、そこに銅を埋め込むことで、表面がシリコン炭化膜に囲まれた接続部を形成できる。このような接続部を設ける場合に、その接続部と下部構造中の素子との接触抵抗を減少させることができる。

【0079】以上のことより、第1の銅配線28の抵抗がより低くなる。

【0080】また、本実施の形態においては、第1の銅配線28の形成に当たって、第1の低誘電率層間絶縁膜24を先に形成し、その内部に配線溝26を形成している。これにより、いわゆるダマシンプロセスが可能となっているが、本発明はそのようなプロセスに限られるものではない。

【0081】＜実施の形態3＞本実施の形態は、実施の形態2に係る半導体装置およびその製造方法の変形例であり、さらにもう一層の銅配線を形成する場合の例である。

【0082】図14～図17は本実施の形態に係る半導体装置の製造方法を示す図であり、図18はそれにより得られる半導体装置を示す図である。この図14～図1

8に示すプロセスフローでは、図13の構造に加えてさらに成膜を行うことにより、2層目の銅配線を形成する。

【0083】本実施の形態においても、酸素原子あるいは酸素原子+窒素原子を含有したシリコン炭化膜が、実施の形態1における第2のエッチングストップ膜10および第2のハードマスク膜12に適用される。そしてさらに、実施の形態1における第2のバリアメタル15の形成が省略され、その代わりに、酸素原子あるいは酸素原子+窒素原子を含有したシリコン炭化膜が配線溝14および接続孔13内の壁面に沿ってサイドウォール膜として形成される。上述した点以外は、実施の形態1の図3～図6のプロセスフローと同様である。以下、図14から順に説明する。

【0084】まず、上記工程で得られた構造の上に、第2の低誘電率層間絶縁膜31、第2のエッチングストップ膜32、第3の低誘電率層間絶縁膜33、および第2のハードマスク膜34をこの順に形成する(図14)。

【0085】上述したように、本実施の形態では、第2のエッチングストップ膜32および第2のハードマスク膜34にも酸素原子あるいは酸素原子+窒素原子を含有したシリコン炭化膜を採用する。酸素原子あるいは酸素原子+窒素原子を含有させても、シリコン炭化膜はエッチングストップ機能およびハードマスク機能を有しているため、このような置換が可能である。

【0086】また、第2および第3の低誘電率層間絶縁膜31、33には、第1の低誘電率層間絶縁膜24と同様の各種の低誘電率層間絶縁膜が採用される。

【0087】次に、第2のハードマスク膜34をフォトリソグラフィ技術を用いてパターンニングし、これをマスクとして第3の低誘電率層間絶縁膜33にドライエッチングを行って配線溝36を形成する。また、配線溝36に露出した第2のエッチングストップ膜32の一部をフォトリソグラフィ技術を用いてパターンニングし、これをマスクとして第2の低誘電率層間絶縁膜31および第1の銅拡散防止膜29にドライエッチングを行って接続孔35を形成する(図15)。

【0088】なお、第2のエッチングストップ膜32は、配線溝36の深さに応じた位置に形成される。よって、第2および第3の低誘電率層間絶縁膜31、33を1つの層間絶縁膜と捉えた場合、その層間絶縁膜の成膜途中で第2のエッチングストップ膜32が形成されることができる。

【0089】続いて、配線溝36および接続孔35内の壁面に酸素原子あるいは酸素原子+窒素原子の含有比率を30原子%以上にしたシリコン炭化膜が形成されるように、それを材料とする第2のサイドウォール形成用絶縁膜37aを図15の構造の全面を覆うように形成する(図16)。

【0090】そして、第2のサイドウォール形成用絶縁

膜 37a に対して異方性ドライエッチングを行い、配線溝 36 および接続孔 35 内の側壁部に接する部分を残すようにエッチバックする。これにより、第 2 のサイドウォール膜 37b を形成する (図 17)。

【0091】次に、第 2 の銅配線 38 を形成し、第 2 のハードマスク膜 34 上の部分を CMP 法により除去する。これにより、配線溝 36 および接続孔 35 は第 2 のサイドウォール膜 37b を側壁部に介して第 2 の銅配線 38 で充填される。そして、酸素原子あるいは酸素原子+窒素原子の含有比率を 30 原子%以上にしたシリコン炭化膜を、第 2 の銅配線 38 の上面に接する第 2 の銅拡散防止膜 39 として形成する (図 18)。

【0092】本実施の形態に係る半導体装置によれば、第 2 の銅配線 38 に接する第 2 の銅拡散防止膜 39 にもシリコン炭化膜を採用し、そのシリコン炭化膜には、酸素原子、または、それに加えて窒素原子が 30 原子%以上含まれる。これにより、多層配線の場合であっても、銅配線からの銅の拡散を防止するシリコン炭化膜の機能が改善され、銅の拡散に起因する絶縁破壊までの寿命が長時間化した半導体装置が得られる。

【0093】また、本実施の形態に係る半導体装置の製造方法によれば、上記利点を有する半導体装置を製造することが可能となる。

【0094】また、本実施の形態においては、第 2 の銅配線 38 の形成に当たって、第 2 および第 3 の低誘電率層間絶縁膜 31、33 を先に形成し、その内部に配線溝 14 および接続孔 13 を形成している。これにより、いわゆるダマシンプロセスが可能となっているが、本発明はそのようなプロセスに限られるものではない。

【0095】また、本実施の形態に係る半導体装置によれば、第 2 のエッチングストップ膜 32、第 2 のサイドウォール膜 37b および第 2 の銅拡散防止膜 39 が全て、酸素あるいは酸素+窒素の含有比率を 30 原子%以上にしたシリコン炭化膜である。

【0096】よって、酸素あるいは酸素+窒素を含有するシリコン炭化膜が、断面図上、第 2 の銅配線 38 の側面のみならず上面、下面にも接しており、第 2 の銅配線 38 の周囲に銅が拡散するのを、より確実に防止することができる。すなわち、第 2 の銅拡散防止膜 39 が第 2 の銅配線 38 の上面に形成されているので、銅の上方への拡散を防止することができる。また、第 2 のサイドウォール膜 37b が配線溝 36 および接続孔 35 内の壁面に沿って形成されているので、配線溝 36 および接続孔 35 側方周辺の第 2 および第 3 の低誘電率層間絶縁膜 31、33 への銅の拡散を防止することができる。また、第 2 の銅配線 38 の下に形成された第 2 のエッチングストップ膜 32 も酸素原子あるいは酸素原子+窒素原子を含有するシリコン炭化膜であるので、銅の下方への拡散、すなわち、第 2 の低誘電率層間絶縁膜 31 への銅拡散を防止することができる。

【0097】また、第 2 のサイドウォール膜 37b が配線溝 36 および接続孔 35 内の壁面に沿って形成されているので、第 2 の銅配線 38 の周囲に銅拡散防止用のバリアメタルを形成する必要がある。バリアメタルが不要となった結果、第 2 の銅配線 38 の体積を増加させることができる。すなわち例えば、実施の形態 1 における第 2 のバリアメタル 15 に比して、第 2 のサイドウォール膜 37b は配線溝 36 および接続孔 35 内の底面には設けられないので、その分、第 2 の銅配線 38 の体積を増やすことができる。

【0098】それに加えて、バリアメタルが配線溝 36 および接続孔 35 内の底面には設けられないことにより、第 2 の銅配線 38 と第 1 の銅配線 28 との接続部の接触抵抗も減少させることができる。

【0099】以上のことより、第 2 の銅配線 38 の抵抗がより低くなる。

【0100】

【発明の効果】請求項 1 に記載の発明によれば、シリコン炭化膜には、酸素原子、または、それに加えて窒素原子が 30 原子%以上含まれる。これにより、導電体に採用した銅の層間絶縁膜への拡散を防止するシリコン炭化膜の機能が改善され、銅の拡散に起因する絶縁破壊までの寿命が長時間化した半導体装置が得られる。

【0101】請求項 2 に記載の発明の発明によれば、シリコン炭化膜には、窒素原子も含まれ、前記シリコン炭化膜は、酸素原子および窒素原子を合わせて 30 原子%以上含む。この場合も請求項 1 と同様の効果がある。

【0102】請求項 3 に記載の発明によれば、シリコン炭化膜には、酸素原子、または、それに加えて窒素原子が 30 原子%以上含まれる。これにより、導電体に採用した銅の層間絶縁膜への拡散を防止するシリコン炭化膜の機能が改善され、銅の拡散に起因する絶縁破壊までの寿命が長時間化した半導体装置を製造することが可能となる。

【0103】請求項 4 に記載の発明によれば、シリコン炭化膜には、窒素原子も含まれ、前記シリコン炭化膜は、酸素原子および窒素原子を合わせて 30 原子%以上含む。この場合も請求項 3 と同様の効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 実施の形態 1 に係る半導体装置の製造方法の一工程を示す図である。

【図 2】 実施の形態 1 に係る半導体装置の製造方法の一工程を示す図である。

【図 3】 実施の形態 1 に係る半導体装置の製造方法の一工程を示す図である。

【図 4】 実施の形態 1 に係る半導体装置の製造方法の一工程を示す図である。

【図 5】 実施の形態 1 に係る半導体装置の製造方法の一工程を示す図である。

【図 6】 実施の形態 1 に係る半導体装置を示す図であ

る。

【図 7】 シリコン炭化膜中の酸素または酸素および窒素の含有率と絶縁破壊までの寿命との関係を示す図である。

【図 8】 実施の形態 2 に係る半導体装置の製造方法の一工程を示す図である。

【図 9】 実施の形態 2 に係る半導体装置の製造方法の一工程を示す図である。

【図 10】 実施の形態 2 に係る半導体装置の製造方法の一工程を示す図である。

【図 11】 実施の形態 2 に係る半導体装置の製造方法の一工程を示す図である。

【図 12】 実施の形態 2 に係る半導体装置の製造方法の一工程を示す図である。

【図 13】 実施の形態 2 に係る半導体装置を示す図である。

【図 14】 実施の形態 3 に係る半導体装置の製造方法の一工程を示す図である。

【図 15】 実施の形態 3 に係る半導体装置の製造方法の一工程を示す図である。

【図 16】 実施の形態 3 に係る半導体装置の製造方法

の一工程を示す図である。

【図 17】 実施の形態 3 に係る半導体装置の製造方法の一工程を示す図である。

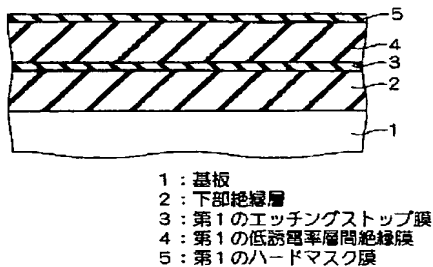
【図 18】 実施の形態 3 に係る半導体装置を示す図である。

【図 19】 従来の埋め込み銅配線構造を有する半導体装置を示す図である。

【符号の説明】

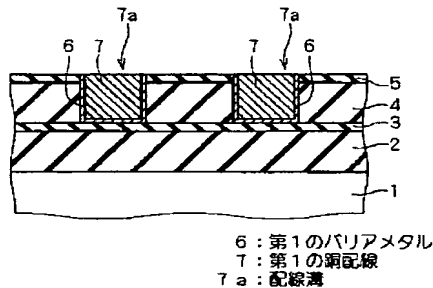
1, 21 基板、2, 22 下部絶縁層、3, 23 第 1 のエッチングストップ膜、4, 24 第 1 の低誘電率層間絶縁膜、5, 25 第 1 のハードマスク膜、6 第 1 のバリアメタル、7, 28 第 1 の銅配線、7 a, 14, 26, 36 配線溝、8, 29 第 1 の銅拡散防止膜、9, 31 第 2 の低誘電率層間絶縁膜、10, 32 第 2 のエッチングストップ膜、11, 33 第 3 の低誘電率層間絶縁膜、12, 34 第 2 のハードマスク膜、13, 35 接続孔、15 第 2 のバリアメタル、16, 38 第 2 の銅配線、17, 39 第 2 の銅拡散防止膜、27 b 第 1 のサイドウォール膜、37 b 第 2 のサイドウォール膜。

【図 1】



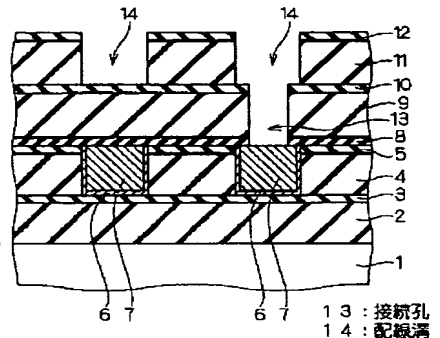
1 : 基板
2 : 下部絶縁層
3 : 第 1 のエッチングストップ膜
4 : 第 1 の低誘電率層間絶縁膜
5 : 第 1 のハードマスク膜

【図 2】



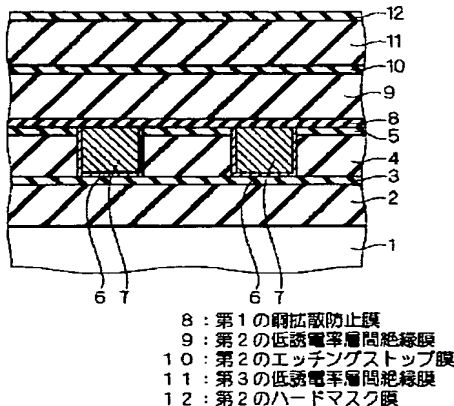
6 : 第 1 のバリアメタル
7 : 第 1 の銅配線
7 a : 配線溝

【図 4】



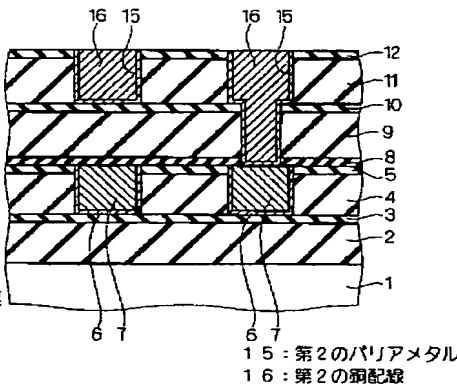
13 : 接続孔
14 : 配線溝

【図 3】



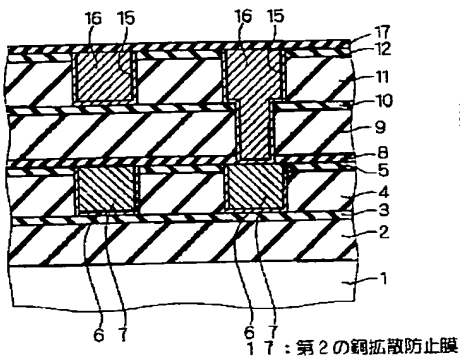
8 : 第 1 の銅拡散防止膜
9 : 第 2 の低誘電率層間絶縁膜
10 : 第 2 のエッチングストップ膜
11 : 第 3 の低誘電率層間絶縁膜
12 : 第 2 のハードマスク膜

【図 5】

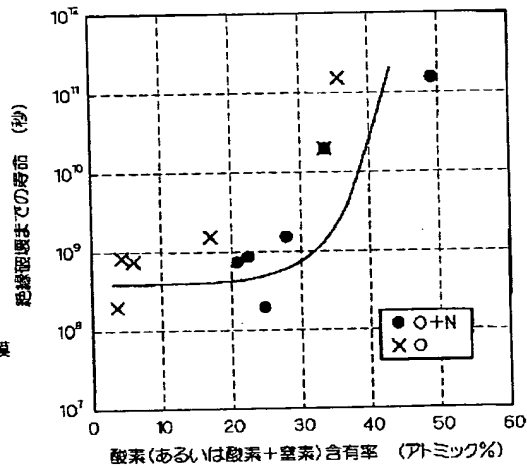


15 : 第 2 のバリアメタル
16 : 第 2 の銅配線

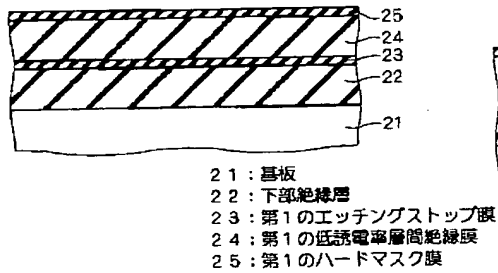
【図 6】



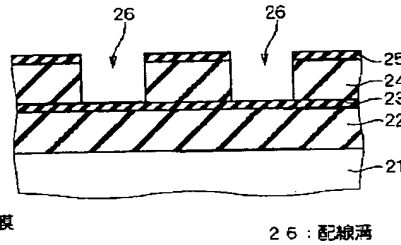
【図 7】



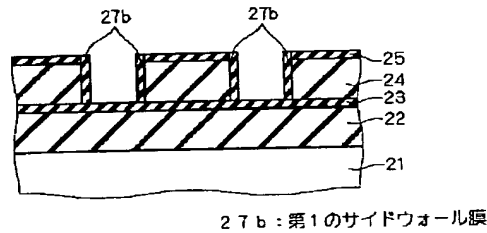
【図 8】



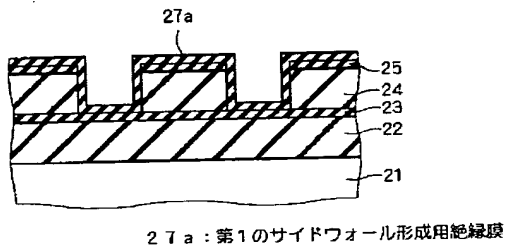
【図 9】



【図 11】

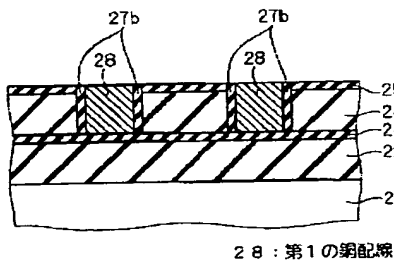


【図 10】

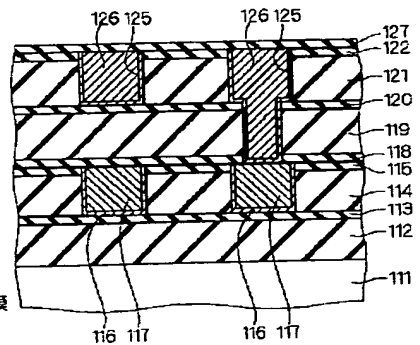
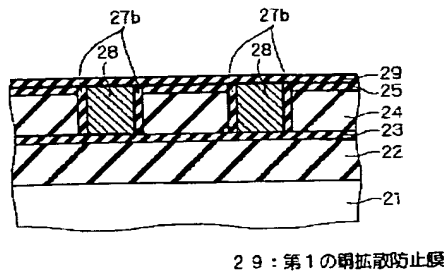


【図 19】

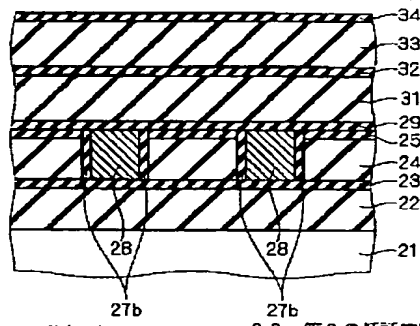
【図 12】



【図 13】

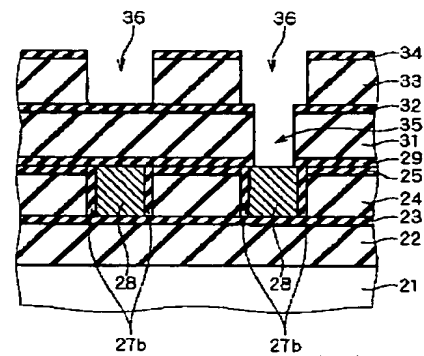


【図 14】



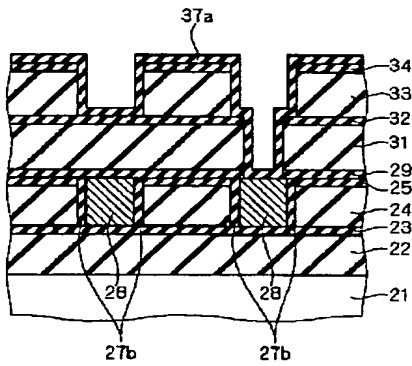
31 : 第2の低誘電率層間絶縁膜 33 : 第3の低誘電率層間絶縁膜
32 : 第2のエッチングストップ膜 34 : 第2のハードマスク膜

【図 15】



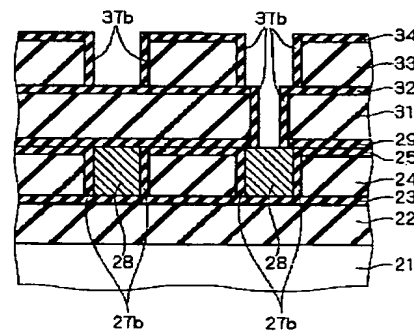
35 : 接続孔 36 : 配線溝

【図 16】



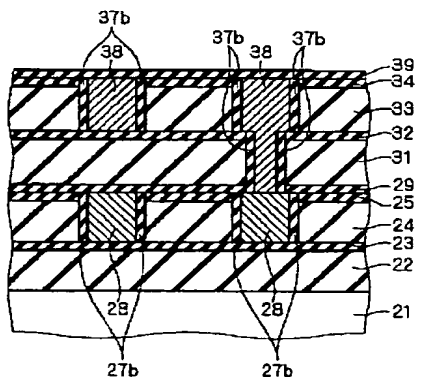
37a : 第2のサイドウォール形成用絶縁膜

【図 17】



37b : 第2のサイドウォール膜

【図 18】



38 : 第2の銅配線
39 : 第2の銅拡散防止膜

フロントページの続き

Fターム(参考) 5F033 HH11 HH32 JJ01 JJ11 JJ32
KK11 KK32 MM01 MM02 MM12
MM13 NN06 NN07 PP06 PP15
PP26 QQ09 QQ10 QQ11 QQ25
QQ28 QQ30 QQ37 QQ48 RR01
RR04 RR05 RR06 RR11 RR20
RR21 SS01 SS03 SS04 SS11
SS15 SS21 TT08 WW04 XX28
5F058 BA20 BC20 BF07 BF26 BF29
BF30 BJ02